

## *Comunicación Técnica*

### **Estimación de efectos en la salud según Directiva 2002/3/EC y RD 1796/2003 relativos al ozono en aire ambiente**

**Autor principal:** Vicente Esteve-Cano

Institución: Universitat Jaume I de Castello

Teléfono: 00447792717801

E-mail: Vicente.Esteve@qio.uji.es

**Otros autores:** Juana Maria Delgado-Saborit, M. Angeles Querol-Balaguer

### Resumen:

El Real Decreto 1796/2003 de 26 de diciembre de 2003, relativo al ozono en el aire ambiente, el cual transpone la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente, establece el nuevo régimen jurídico sobre el ozono troposférico presente en la baja atmósfera.

Ambas legislaciones exigen tener medidas en continuo del ozono troposférico para aplicar valores horarios y octohorarios. Los captadores pasivos utilizados en este estudio ofrecen medidas promedios semanales generalmente y estiman medias octohorarias y horarias de dichos períodos. Por lo tanto, desde un punto de vista legal, no sirven como medida útil para aplicar la legislación vigente. Sin embargo, los captadores pasivos son útiles como herramienta preliminar para estimar posibles superaciones y/o zonas calientes donde establecer analizadores en continuo que sean útiles para aplicar los requisitos contenidos en la legislación.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha utilizado captadores pasivos para determinar zonas calientes donde se estime que pueda no cumplirse la legislación en un área costera mediterránea.

En el presente trabajo se presenta los mapas de iso-concentración de ozono troposférico obtenidos mediante el captador pasivo Passam en un área costero Mediterránea.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ozono troposférico es un gas contaminante secundario formado mediante reacciones fotoquímicas en las que intervienen contaminantes primarios como los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los compuestos orgánico volátiles en condiciones de insolación y temperaturas cálidas (EPA 1996; Skelly et al. 2001). Las fuentes de estos contaminantes primarios son principalmente las emisiones de vehículos, fuentes de combustión estacionarias y el uso de disolventes (Denison et al. 2000). De entre todos ellos, el tráfico urbano resulta ser la mayor fuente de contaminantes precursores (Bernard et al. 1999).

El ozono es un irritante respiratorio. La influencia sobre la salud del ozono como contaminante se basa en su toxicidad. Debido a su pequeña capacidad de disolución, el ozono penetra en las vías respiratorias e irrita las mucosas y los tejidos pulmonares. Altas concentraciones de ozono, largas exposiciones temporales y exhaustivos grados de actividad física durante la exposición causan graves efectos en la salud como son disminución de la función pulmonar, agravamientos asmáticos, falta de aliento, dolor de pecho en respiraciones profundas, respiración silbante y tos. La exposición a concentraciones elevadas de ozono es responsable de un aumento en la mortalidad, admisiones hospitalarias y visitas a Emergencias debido a problemas respiratorios. La exposición repetida a ozono puede hacer que la gente sea más susceptible a infecciones respiratorias, inflamaciones pulmonares y puede agravar enfermedades respiratorias pre-existentes como asma, bronquitis y fibrosis pulmonar (Fenger et al. 1999).

El Real Decreto 1796/2003 de 26 de diciembre de 2003, relativo al ozono en el aire ambiente, el cual transpone la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente, establece el nuevo régimen jurídico sobre el ozono troposférico presente en la baja atmósfera. Ambas

legislaciones exigen tener medidas en continuo del ozono troposférico para aplicar valores horarios y octohorarios (EU 2002; 2003).

Los captadores pasivos utilizados en este estudio ofrecen generalmente medidas promedios semanales y estiman medias octohorarias y horarias de dichos periodos. Por lo tanto, desde un punto de vista legal, no sirven como medida útil para aplicar la legislación vigente. Sin embargo, los captadores pasivos son útiles como herramienta preliminar para estimar posibles superaciones y/o zonas calientes donde establecer analizadores en continuo que sean útiles para aplicar los requisitos contenidos en la legislación. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha utilizado captadores pasivos para determinar zonas calientes donde se estime que pueda no cumplirse la legislación en un área costera mediterránea.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de Estudio

El área de estudio está localizada en La Plana de Castellón y sus alrededores (Figura 1). Dicha zona, situada en el Este de España, es un terreno semicircular delimitado por una franja montañosa de 700 metros de altura y por el Mar Mediterráneo al Este

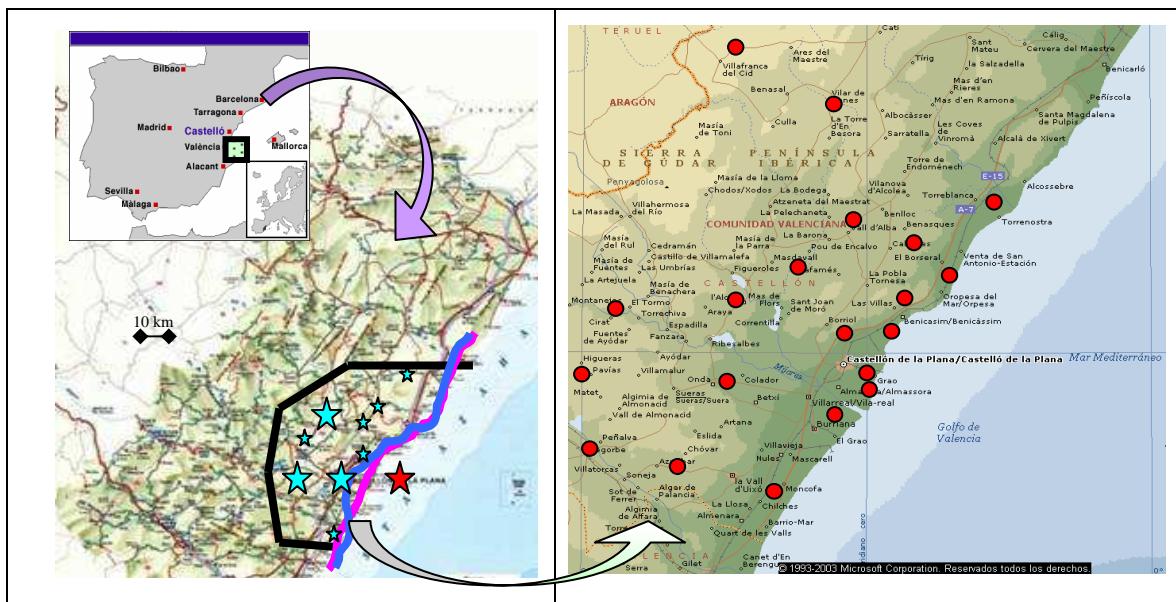


Figura 1. (a) Área de estudio, donde las estrellas azul claro son fábricas de azulejos y esmaltadoras, la estrella roja oscuro es una refinería y planta de generación eléctrica, la línea azul oscuro es la carretera nacional N-340 y la línea rosa pálido es la autopista E-15/AP-7. (b) Los puntos rojos muestran los puntos de muestreo

El área se caracteriza por una población de más de tres cientos mil habitantes concentrados en la franja litoral con una densidad de población de más de quinientos habitantes por kilómetro cuadrado. Las poblaciones que tienen mayor densidad de población son Castellón de la Plana, Vila-real, Burriana, La Vall d'Uixó, Vinaròs, Benicarló, Onda, L'Alcora, Nules y Almassora (Delgado Saborit 2005). En contraste, en la zona interior de la provincia la densidad de población es muy reducida, siendo inferior a diez habitantes por kilómetro cuadrado (Delgado-Saborit et al. 2006).

Meteorológicamente, el área tiene un clima mediterráneo con veranos cálidos e inviernos suaves. La radiación solar incidente, cuyo promedio es de  $900 \text{ W/m}^2$ , favorece los procesos de producción fotoquímica de ozono troposférico aportando la energía necesaria. Las tierras de Castellón disponen de más de 2800 horas de sol al año, cifra que representa cerca del 70% del periodo teórico de insolación. La precipitación en la zona de estudio es irregular con máximos otoñales y mínimos estivales. La humedad relativa promedio ronda el 65-70% a lo largo de todo el año. El régimen de vientos se caracteriza por no tener velocidades elevadas. Menos del 3% de los vientos registrados son superiores a 50 km/h, mientras que más del 90% son vientos inferiores a 20 km/h. Junto a la velocidad, otro carácter de los vientos es su dirección. Las distintas rosas de los vientos muestran que la mayor frecuencia anual parece corresponder a los vientos marítimos, de sector NE a SE. Sin embargo, existe un marcado carácter estacional de la circulación aérea local. El predominio de los vientos marítimos es muy acusado durante el

período estival, mientras que durante el invierno los vientos del sector oeste o continental soplan con mayor frecuencia. (Sánchez Adell et al. 1990). Esta fuerte alternancia estacional pone de manifiesto la influencia decisiva del mecanismo de las brisas. En las condiciones atmosféricas habituales el mecanismo de la brisa se sobreimpone a la circulación sinóptica. Esta extensión de las brisas marinas hacia el interior tiene gran importancia para la difusión de contaminantes atmosféricos (Delgado Saborit 2005).

El área de estudio es de especial interés debido a que existe un polígono industrial denominado “El Serrallo” en donde se ubica una planta térmica de generación eléctrica, una refinería de petróleo y una fábrica petroquímica que trabaja con los subproductos de la refinería (Figura 1, estrella rojo oscuro). Además, se concentran en área más de trescientas fábricas de azulejos y esmaltes (Figura 1, estrellas azul claro). A su vez, el área es atravesada por una de las principales autopistas europea y española, la A7-E15 (Figura 1, línea rosa pálido) y por una carretera nacional de tráfico elevado como es la N-340 (Figura 1, línea azul oscuro). Como consecuencia, existe una gran cantidad de fuentes emisoras de contaminantes precursores (Delgado-Saborit et al. 2006)

## 2.2. Captador Pasivo

2.2.1. *Teoría de la difusión.* Los captadores pasivos son unos dispositivos capaces de captar muestras de contaminantes de gas o de vapor de la atmósfera, con una velocidad controlada por un proceso físico como la difusión a través de una capa de aire estático, o de permeación a través de una membrana, sin la intervención de un movimiento activo de aire a través del captador (Berlin et al. 1987; Brown 2000). La fuerza impulsora es el gradiente de concentración existente entre el aire ambiente y la superficie de absorción, donde el contaminante tiene concentración nula (Hangartner 1996).

La velocidad de difusión viene controlada por la Ley de Fick,

$$F = -D \frac{dC}{dL} \quad (1)$$

donde  $F$  es el flujo molar ( $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ),  $D$  es el coeficiente de difusión ( $\text{cm}^2/\text{min}$ ),  $C$  es la concentración del contaminante ( $\mu\text{g / cm}^3$ ) y  $L$  es la longitud de difusión (cm).

2.2.2. *Descripción del captador pasivo utilizado.* Las medidas se realizaron con captadores pasivos Passam. Dicho captador posee una geometría de tipo longitudinal en forma de tubo. La captación del contaminante se realiza por difusión del mismo desde un extremo abierto del tubo en contacto con el aire ambiente hasta el fondo del tubo donde existe un filtro impregnado de absorbente en donde queda retenido el contaminante.

El captador pasivo Passam para medida de ozono se basa en el principio de que el ozono es adsorbido en un filtro impregnado con 1,2-di(4-dipiridil)etileno (DPE) (Hangartner et al. 1996; Bernard et al. 1999). Durante el periodo de exposición en el campo, el DPE por ozonólisis se convierte en un aldehído (4-piridilaldehído). Despues del muestreo se le hace reaccionar con una solución ácida de 3-metil-2-benzotiazolinohidrazona (MBTH) produciendo un azida de color amarillo cuya absorbancia se determina espectrofotométricamente.

Se puede conocer la concentración de ozono en el ambiente teniendo en cuenta que 1 mol de ozono oxida a un mol de DPE (1,2-di(4-dipiridil)etileno) impregnado en filtro y como producto se obtiene 2 moles de aldehído (4-piridilaldehído). Los moles de ozono que han reaccionado con el DPE dan el doble de moles de 4-piridilaldehído. Por lo tanto conociendo la cantidad de 4-piridilaldehído presente en una muestra, se puede relacionar

con la cantidad de ozono presente en la atmósfera que ha originado ese aldehído y sabiendo el tiempo de muestreo y el coeficiente de captación del captador pasivo se obtiene la concentración ambiental promedio de ozono durante el periodo muestreado (Delgado Saborit 2005)

2.2.3. *Técnica analítica.* Para analizar las muestras, se introducen el filtro impregnado absorbente en un vial y se añaden 5 mL de disolución MBTH. Dicha solución se agita durante una hora para favorecer la reacción entre el MBTH y el 4-piridilaldehído para formar una hidracida de color amarilla. Esta hidracida se analiza inmediatamente mediante colorimetría en un espectrofotómetro Hewlett Packard 8453 a una longitud de onda de 430 nm. Si el extracto no se va a analizar inmediatamente, se almacena en el refrigerador a 4°C por un periodo no superior a 48 horas para evitar la desnaturización de la hidracida (Delgado Saborit 2005).

### 2.3. Campaña de Medida

2.3.1. *Periodos y frecuencia.* La campaña de medida se realizó durante el periodo de mayor actividad fotoquímica, en el verano de 2003, desde el 9 de Junio al 6 de Octubre. La campaña de medida se dividió en periodos de muestreo semanales.

2.3.2. *Puntos de muestreo.* Veinte puntos de muestreo se seleccionaron para cubrir un área de interés de 8000 km<sup>2</sup>. Las muestras se colocaron en localizaciones periféricas alrededor de la ciudad de Castellón y de los focos de precursores. La Figura 1(b) muestra la distribución de los puntos de muestreo en el área de estudio.

Los captadores pasivos se colocaron lejos de fuentes de óxidos de nitrógeno, lejos de paredes y a una distancia superior a 20cm de cualquier superficie vertical. Los captadores pasivos fueron desarrollados inicialmente para medida de calidad del aire en interiores. Por lo tanto, a la hora de utilizar los captadores pasivos en medidas de calidad del aire ambiente en exteriores, es aconsejable protegerlos de la lluvia y del viento con una carcasa protectora. Aún en la ausencia de lluvia, la carcasa protectora es indispensable para minimizar la contaminación de los captadores por el polvo ambiente y evitar efectos de advección en los captadores pasivos (Roadman et al. 2003). En el presente estudio se utilizaron las carcassas protectoras suministradas por el fabricante. Los captadores introducidos en la carcasa protectora, se fijaron a los puntos de muestreo seleccionados mediante bridas a postes, vallas metálicas o farolas.

2.3.3. *Protocolo de muestreo.* El manejo de los captadores pasivos se realizó con especial cuidado. Todos los captadores pasivos se mantuvieron en bolsas cerradas inertes en contenedores estancos refrigerados durante el transporte de las muestras del laboratorio al campo y viceversa. Tras la exposición en el campo, los captadores pasivos se guardaron en el frigorífico a 4°C en bolsas inertes hasta su preparación para el análisis (Delgado Saborit 2005).

### 2.4. Estimación de efectos en la salud según Directiva 2002/3/EC y RD 1796/2003 relativos al ozono en aire ambiente

El Real Decreto 1796/2003 de 26 de diciembre de 2003, relativo al ozono en el aire ambiente, el cual transpone la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente, establece el nuevo régimen jurídico sobre el ozono troposférico presente en la baja atmósfera.

En dicha legislación se establecen valores objetivos, objetivos a largo plazo y umbrales de alerta e información, los cuales exigen tener medidas en continuo del ozono troposférico para aplicar valores horarios y octohorarios. Los captadores pasivos utilizados en este estudio ofrecen generalmente medidas promedios semanales. Por lo tanto para determinar el cumplimiento de los valores y objetivos establecidos en dicha legislación es preciso estimar las medias octohorarias y horarias de dichos períodos.

**2.4.1. Estimación de concentraciones octohorarias.** La concentración octohoraria de ozono troposférico no se puede obtener directamente de los captadores pasivos, puesto que estos dan un promedio del periodo de muestreo. Para calcular la concentración octohoraria se ha determinado la relación existente entre los datos registrados en las estaciones de referencia de la provincia de Castellón medidos con analizadores automáticos entre los promedios diarios y el promedio octohorario comprendido entre las 08.00h y las 20.00h con los datos registrados en la época estival relativa a cuatro años consecutivos, desde 2001 a 2004. En la Tabla 1 se muestra la recta de correlación obtenida realizando dicho análisis.

**Tabla 1. Relación concentraciones promedio diarias y octohorarias medidas con método de referencia**

DEFINICIÓN		RELACIÓN		
X	Y	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>	ERROR
Nivel de ozono promedio estival ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nivel de ozono promedio octohorario estival ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$Y = 1,205 X$	0,7335	9,80 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

En la Figura 2 se muestra la recta de correlación descrita en la Tabla 1, la cual relaciona las concentraciones promedio diarias y octohorarias estivales de cuatro años consecutivos, obtenidos a partir de los datos de analizadores en continuo de las distintas estaciones de medida situados en la provincia de Castellón, propiedad de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana.

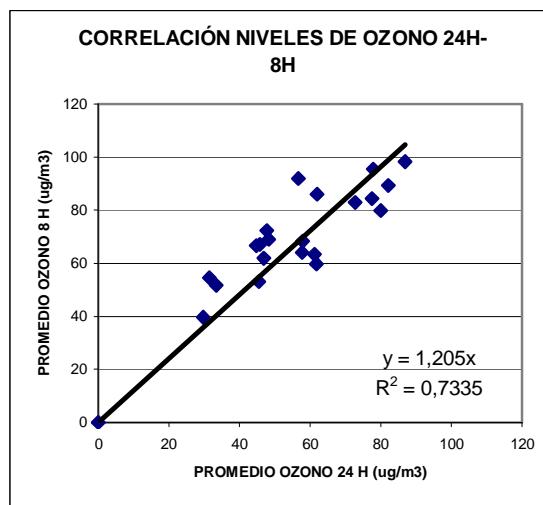


Figura 2. Relación concentraciones promedio diario estival y concentraciones promedio octohorarias estivales con método referencia

2.4.1. *Estimación de concentraciones horarias.* La concentración horaria de ozono troposférico no se puede obtener directamente de los captadores pasivos, puesto que estos dan un promedio del periodo de muestreo. Para calcular la concentración horaria se ha determinado la relación existente entre los datos registrados en las estaciones de referencia de la provincia de Castellón medidos con analizadores automáticos entre los promedios diarios y el promedio de los diez máximos horarios registrados en dicho periodo durante la época estival relativa a cuatro años consecutivos, desde 2001 a 2004. En la Tabla 2 se muestra la recta de correlación obtenida realizando dicho análisis.

Tabla 2. Relación concentraciones promedio diarias y horarias medidas con método de referencia

DEFINICIÓN		RELACIÓN		
X	Y	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>	ERROR
Nivel de ozono promedio campaña estival ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nivel de ozono máximo horario promedio estival ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$Y = 1.128 X + 63.092$	0,827	13,99 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

En la Figura 3 se muestra la recta de correlación descrita en la Tabla 2, la cual relaciona las concentraciones promedio de la campaña estival y la máxima concentración horaria promedio de las campañas, obtenidos a partir de los datos de analizadores en continuo de las distintas estaciones de medida situados en la provincia de Castellón, propiedad de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana.

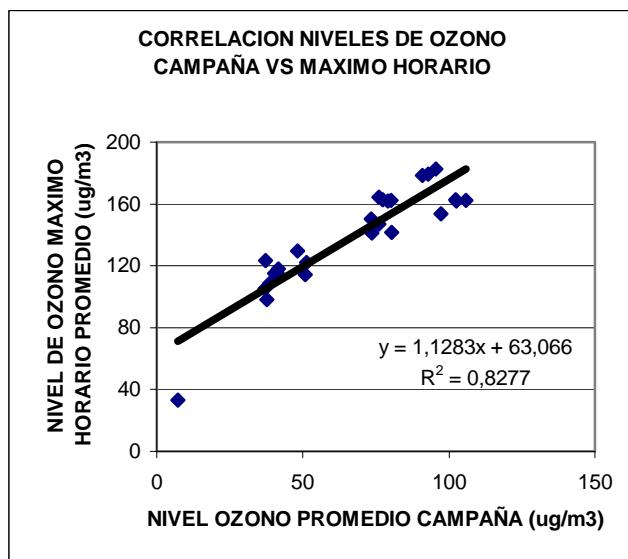


Figura 3. Relación concentraciones promedio diario estival y concentraciones promedio horarias estivales con método referencia

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Niveles de ozono troposférico

Se han utilizado los valores promedio de la campaña de medida obtenidos mediante el captador pasivo para dibujar un mapa con la distribución regional de la concentración de ozono. El mapa se ha realizado con el programa informático Surfer 7.04 (Golden Software Golden, INC) (Surfer 2001) utilizando el modelo de interpolación Kriging para analizar la variabilidad espacial del ozono. La Figura 4 representa el nivel de ozono promedio representativo de la campaña de muestreo medido con el captador pasivo Passam.

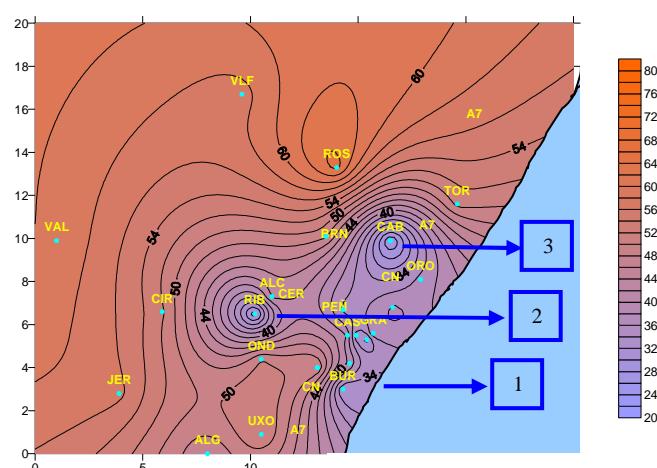


Figura 4. Nivel de ozono promedio representativo de la campaña de muestreo medido con el captador pasivo Passam

La Figura 4 muestra que existen tres áreas claramente diferenciadas donde los niveles de ozono son más reducidos. La primera área, codificada 1 en la Figura 4, corresponde con el polígono industrial “El Serrallo” (donde estaba localizada la central eléctrica, la refinería de petróleo y la industria petroquímica) junto con la zona de Castellón capital. Las otras dos áreas identificadas, codificadas como 2 y 3 en la Figura 4, corresponden con la distribución de las industrias cerámicas centradas básicamente en el eje Onda-Alcora-Cabanes.

La concentración de ozono troposférico próxima a las fuentes emisoras de contaminantes precursores es generalmente inferior con respecto a áreas alejadas debido al efecto de sumidero que produce el óxido nítrico (WHO 2000). De esta forma, las concentraciones de ozono disminuyen cerca de focos emisores de NO (Winner et al. 1989; Monn 2001), como son el polígono industrial “El Serrallo”, la urbe correspondiente a Castellón capital y ciudades periféricas y el área donde se ubica la industria cerámica.

En el resto del área estudiada, los niveles de ozono son siempre mayores. Estos resultados son consistentes con la bibliografía, donde se encuentra que las zonas rurales tienden a registrar niveles más elevados de ozono a largo plazo. Este fenómeno debe su explicación a que las masas de aire transportan la contaminación producida en los núcleos urbanos e industriales. Durante este transporte, la generación fotoquímica se desarrolla produciendo ozono. A la vez el efecto sumidero que ejercen sus precursores es mínimo por la lejanía a las fuentes emisoras, por lo que existe una mínima pérdida de ozono (Skelly et al. 2001).

El nivel promedio de ozono medido en el área de estudio se encuentra en el intervalo de 34-44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos valores están en consonancia con los valores de fondo europeos, los cuales se encuentran en el intervalo 40–70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO 1995).

### **3.2. Estimación de efectos en la salud según Directiva 2002/3/EC y RD 1796/2003 relativos al ozono en aire ambiente**

El Real Decreto 1796/2003 de 26 de diciembre de 2003, relativo al ozono en el aire ambiente, el cual transpone la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente, establece el nuevo régimen jurídico sobre el ozono troposférico presente en la baja atmósfera. En dicha legislación se establecen valores objetivos, objetivos a largo plazo y umbrales de alerta e información que requieren medidas octohorarias y horarias.

Se ha establecido un método de estimación de los valores horarios y octohorarios tras realizar un análisis de los datos de analizadores en continuo de las distintas estaciones de medida de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana en la provincia de Castellón durante la época estival relativos a cuatro años consecutivos, desde el 2001 al 2004.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha aplicado el método de estimación de valores horarios y octohorarios para determinar zonas calientes donde se estime que pueda no cumplirse la legislación.

**3.2.1. Valores objetivos.** El valor objetivo es la concentración de ozono que deberá alcanzarse en un momento determinado para evitar a largo plazo los efectos nocivos sobre la salud humana o el medio ambiente en su conjunto. En el artículo 3 del RD 1796/2003 y de la Directiva 2002/3/EC se definen los valores objetivos para la protección de la salud, el cual se deberá alcanzar a partir del quinquenio iniciado en el 2010. Dicho valor, reflejado en el apartado II del anexo I de los citados documentos, es

un valor máximo de las medias octohorarias de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de 3 años (EU 2002; 2003).

A continuación se presentan los mapas dibujados con el programa Surfer a partir de los valores de concentración de ozono promedio octohoraria en el área de interés estimados mediante la ecuación mostrada en la Tabla 1.

Las líneas en rojo delimitan áreas donde se estima que se supera el valor octohorario de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que las líneas negras delimitan áreas donde no se estiman que se supere dicho valor

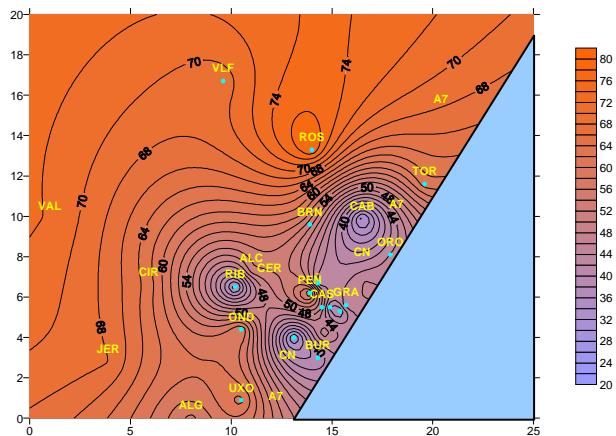


Figura 5. Distribución de la estimación de concentraciones promedios octohorarias de ozono y estimación de la superación del valor octohorario  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Observando el mapa reflejado en la Figura 5 se estima que, como promedio de la campaña estudiada nunca se rebasa el valor objetivo.

**3.2.2. Objetivos a largo plazo.** Los objetivos a largo plazo son la concentración de ozono en el aire ambiente por debajo de la cual, según los conocimientos científicos actuales, es improbable que se produzcan efectos nocivos directos sobre la salud humana de la población o el medio ambiente en su conjunto. Este objetivo debe ser alcanzado a largo plazo, salvo cuando ello no sea posible con el uso de medidas proporcionadas. Los objetivos a largo plazo se establecen en el apartado III del anexo I de ambos documentos. Dicho objetivo a largo plazo para la protección de la salud es de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como máximo de las medias octohorarias del día en un año civil (EU 2002; 2003).

De nuevo observamos que este valor, en función de la Figura 5, se estima que nunca se rebasa en todo el área de estudio como promedio en la campaña de muestreo realizada.

**3.2.3. Umbral de alerta e información.** Los umbrales de información y de alerta para las concentraciones de ozono, con la finalidad de que las Administraciones públicas competentes suministren la correspondiente información a la población y a la Administración sanitaria cuando se superen dichos umbrales, o cuando se prevea que puedan ser superados

El umbral de alerta es la concentración de ozono a partir de la cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana de la población en general y las Administraciones competentes deben tomar medidas inmediatas. El umbral de información es la concentración de ozono a partir de la cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana de los grupos de población especialmente de riesgo y las Administraciones competentes deben suministrar una información actualizada.

El umbral de alerta se establecen en el apartado I del anexo II de ambos documentos en un valor 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como máximo de las medias horarias consecutivo en tres horas (EU 2002; 2003). El umbral de información se establecen en el apartado I del anexo II de ambos documentos en un valor 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como máximo de las medias horarias consecutivo en tres horas (EU 2002; 2003; 2003).

A continuación se presentan los mapas dibujados con el programa Surfer a partir de los valores de concentración de ozono promedio horaria en el área de interés, estimados mediante la ecuación mostrada en la Tabla 2.

Las líneas en rojo delimitan áreas donde se superan los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , las líneas verdes, áreas donde se superan los 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y las líneas azules, áreas donde se superan los 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las líneas negras delimitan áreas donde no se estiman que se supere ninguno de los niveles anteriores.

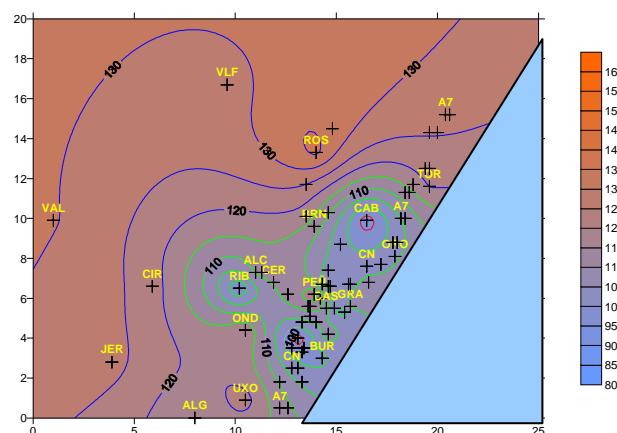


Figura 6. Distribución de las concentraciones promedio máximo horario de ozono en cada campaña en el área de estudio y delimitación de niveles perjudiciales para la salud.

En función del mapa mostrado en la Figura 6, se estima que como promedio de la campaña de muestreo estudiada, nunca se rebasa en todo el área de estudio ni el umbral de alerta ni el umbral de información.

#### 4. CONCLUSION

En el presente estudio se han utilizado captadores pasivos para determinar satisfactoriamente la distribución de los niveles de ozono en el área de estudio. Se han identificado zonas de baja concentración de ozono o focos fríos, los cuales se han relacionado con las áreas donde se encuentran las fuentes emisoras de contaminantes precursores de ozono. Las mayores concentraciones de ozono se han registrado en zonas alejadas de dichas fuentes de emisión de precursores.

Se ha establecido un método de estimación de los valores horarios y octohorarios tras realizar un análisis de los datos de analizadores en continuo de las distintas estaciones de medida de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana en la provincia de Castellón durante la época estival relativos a cuatro años consecutivos, desde el 2001 al 2004.

Tras estudiar todos los valores horarios y octohorarios estimados y aplicar los límites establecidos en la presente legislación relativa al ozono en aire ambiente, se observamos que en ninguna zona del área de estudio se estiman superaciones de los límites establecidos por la ley. Sin embargo, como estos resultados son simplemente indicativos,

pues los captadores pasivos no miden concentraciones horarias ni octohorarias, sino que las estiman, un buen gestor de sanidad ambiental debería localizar analizadores en continuo en aquellas áreas interiores donde los niveles de ozono son elevados y que fueran representativos de núcleos de población.

Los captadores pasivos utilizados en este estudio ofrecen generalmente medidas promedios semanales y estiman medias octohorarias y horarias de dichos períodos. Por lo tanto, desde un punto de vista legal, no sirven como medida útil para aplicar la legislación vigente. Sin embargo, los captadores pasivos son útiles como herramienta preliminar para estimar posibles superaciones o zonas calientes donde establecer analizadores en continuo que sean útiles para aplicar los requisitos contenidos en la legislación.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos a Don Carlos Felis de la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana por facilitar los datos necesarios de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana. Los autores reconocen la ayuda técnica suministrada por Doña Carmen Clemente al presente estudio. Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología la concesión del proyecto ODOPAS. La Dra. Juana María Delgado Saborit está agradecida a la Generalitat Valenciana por la concesión de la beca FPI Modalidad A. Doña María Ángeles Querol Balaguer agradece a la Conselleria de Cultura, Educació i Ciència de la Generalitat Valenciana la ayuda realizada mediante el proyecto GV00-2-137 y la beca FPI00-02-328.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- (2003). Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente. **1796/2003**.
- (2003). REAL DECRETO 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente.
- Berlin, A., R. H. Brown and K. J. Saunders (1987). Diffusive Sampling an Alternative Approach to Workplace Air Monitoring. Brussels, European Union.
- Bernard, N. L., M. J. Gerber, C. M. Astre and M. J. Saintot (1999). "Ozone measurement with passive samplers: Validation and use for ozone pollution assessment in Montpellier, France." *Environmental Science & Technology* **33**(2): 217-222.
- Brown, R. H. (2000). "Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations." *Journal of Environmental Monitoring* **2**(1): 1-9.
- Delgado-Saborit, J., M. Querol-Balaguer and V. Esteve-Cano (2006). Use of passive samplers as a tool for health risks assessment due to tropospheric ozone. 6th International symposium on Advanced Environmental Monitoring, Heidelberg, Germany.
- Delgado Saborit, J. M. (2005). Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Dpto. Inorgánica y Orgánica. Castellón, Universitat Jaume I: 565.
- Denison, L., K. Rolfe and B. Graham (2000). Review of the Ambient Air Quality Guidelines. Health Effects of Five Common Air Contaminants and Recommended Protective Ranges. Wellington, New Zealand, Ministry for the Environment.
- EPA (1996). Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants., U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC, National Center for Environmental Assessment, RTP Office.
- EU (2002). Directive 2002/3/EC relating to ozone in ambient air. Directive.
- Fenger, J., O. Hertel and F. Palmgren (1999). Urban Air Pollution - European Aspects. Dordrecht, Holand, Kluver Academic Publishers.
- Hangartner, M. (1996). Diffusive Sampling as an Alternative approach for developing countries. World Congress on Air Pollution in Developing Countries, Costa Rica, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- Hangartner, M., M. Kirchner and H. Werner (1996). "Evaluation of passive methods for measuring ozone in the European Alps." *Analyst* **121**(9): 1269-1272.
- Monn, C. (2001). "Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone." *Atmospheric Environment* **35**(1): 1-32.
- Roadman, M. J., J. R. Scudlark, J. J. Meisinger and W. J. Ullman (2003). "Validation of Ogawa passive samplers for the determination of gaseous ammonia concentrations in agricultural settings." *Atmospheric Environment* **37**(17): 2317-2325.
- Sánchez Adell, J., R. Rodríguez Culebras and F. Olucha Montins (1990). Castellón de la Plana y su provincia. Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Castellón. Castellon, Spain.
- Skelly, J. M., J. A. Ferdinand, J. E. Savage and J. D. Mulik (2001). "A 13-week comparison of passive and continuous ozone monitors at forested sites in north-central Pennsylvania." *Journal of the Air & Waste Management Association* **51**(9): 1280-1287.
- Surfer (2001). Surfer 7.04 Golden Software, INC., Golden, Colorado, USA.

- WHO (1995). Update and revision of the air quality guidelines for Europe, WHO Regional Office for Europe.
- WHO (2000). Chapter 7.2. Ozone and other photochemical oxidants. Air Quality Guidelines - Second Edition. Copenhaguen, Denmark, WHO Regional Office for Europe.
- Winner, W. E., A. S. Lefohn, I. S. Cotter, C. S. Greitner, J. Nellessen, L. R. McEvoy, Jr., R. L. Olson, C. J. Atkinson and L. D. Moore (1989). "Plant Responses to Elevational Gradients of O<sub>3</sub> Exposures in Virginia." Proc. Natl. Acad. Sci. **86**: 8828-8832.